



VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Návrh efektivního elektroerozivního obrábění

Design of Efficient Electro – erosive Machining

Student:

Bc. Miroslav Bezeli

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Ostrava 2019



VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Bezeli**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh efektivního elektroerozivního obrábění**
Design of Efficient Electro-erosive Machining
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Nekonvenční způsoby obrábění.
3. Současný stav konkrétní výroby.
4. Návrh nové technologie.
5. Diskuze experimentů.
6. Technicko-ekonomické zhodnocení.


Seznam doporučené odborné literatury:

HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
SHAW, Milton C. *Metal Cutting Principles*. 2nd edition. New York : Oxford University Press, 2005. 651. p. ISBN 0-19-514206-3.
STEPHENSON, D. A.; AGAPIOU, J. S. *Metal cutting theory and practice*. New York : Marcel Dekker, Inc., 1997. ISBN 0-8247-9579-2.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 21.12.2018
Datum odevzdání: 20.05.2019


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V práci jsem použil interní údaje o technických parametrech elektrodrátových řezaček získaných od firmy Robotrio s. r. o., firma s jejich zveřejněním souhlasí.

V Ostravě dne 15. května 2019

.....
Podpis studenta



Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 15. května 2019

.....
Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Miroslav Bezeli

Adresa trvalého pobytu autora práce: Postřelmov



ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

BEZELI, M. *Design of Efficient Electro – erosive Machining: diplomová práce*. Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2019, Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

Diplomová práce se zabývá výběrem vhodné elektroerozivní technologie pro konkrétní výrobu. V úvodu je popsána problematika nekonvenčních technologií a její charakteristika. V dalších bodech se práce zaměřuje na elektroerozivní technologie a jejich široké využití ve strojírenském průmyslu. Na základě porovnávání jednotlivých parametrů a testů byla vybrána vhodná elektroerozivní technologie.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

BEZELI, M. *Design of Efficient Electro – erosive Machining: Diploma thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2019, Thesis head: doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.

This Master Thesis presents results of selection of electrical discharge machining technologies for specific production processes. In the first part of the study, non-conventional technologies and their characteristics are described. Then the electrical discharge machining technologies are presented and their wide-spread use in machinery industry is explained. Based on comparison of individual parameters and measurements, selection of appropriate electrical discharge machining technologies for specific production processes is proposed and a rationale for such selection is provided.



Obsah

	Seznam použitých značek a symbolů	8
A)	ÚVOD – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU	9
B)	NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	12
1.	Elektroerozivní metody obrábění	14
1.1	Historie elektroeroze	14
1.2	Princip elektroeroze	14
1.3	Charakteristika povrchu vytvořená po elektroerozivním obrábění	22
1.4	Vliv charakteru povrchu na mechanické a pevnostní vlastnosti	24
1.5	Pracovní podmínky a charakter výboje	25
1.6	Pracovní kapaliny pro elektroerozivní obrábění	26
1.7	Nástrojové elektrody	28
1.8	Navlékání drátu	32
1.9	Druhy řezů	33
C)	SOUČASNÝ STAV EDM VE VÝROBĚ FIRMY ROBOTRIO.	34
	ROBOFIL 290	34
	ROBOFIL 440CC	35
	ROBOFIL 640CC	36
	CUT 2000S	37
D)	NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE	38
1.	Systém hodnocení	38
1.1	Servisní podmínky	40
1.2	Parametry stroje	41
1.3	Řezání vzorku	42
2.	Vybrané testované EDM řezačky	43
2.1	Agie Charmilles CUT 3000	43
2.2	Fanuc α – C600 i A	45
2.3	Sodic AG 600 L	46
E)	DISKUZE EXPERIMENTŮ - Řezané vzorky	48
1)	Agie Charmilles CUT 3000	50
2)	Fanuc C600 iA/MF2	52
3)	Sodic AG 600 L	53
F)	TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
1)	Agie Charmilles Cut 3000	55
2)	Fanuc α – C600 i A	59
3)	Sodic AG 600 L	63



G) ZÁVĚR	69
Použitá literatura	71
Poděkování	73
PŘÍLOHA	74



Seznam použitých značek a symbolů

Symbol/ zkratka	Vyjádření	jednotky
Ra	střední aritmetická úchylka profilu	μm
Rz	výška nerovnosti profilu	μm
b_T	celkový bodový zisk příslušné nabídky	bod
b_{Pi}	bodový zisk za kritérium nabídková cena	bod
b_s	bodový zisk za kritérium servisní podmínky	bod
b_{ps}	bodový zisk za kritérium parametry stroje	bod
BP_{\min}	nejnižší nabídková cena	
W_{BP}	váha kritéria	
T_{\min}	nejkratší čas řezu	s
T_r	dosažený čas řezu	s
HRC	zkouška tvrdosti podle Rockwella	N
b_M	bodový zisk za vzorek	bod
TTAV	teplota tavení	$^{\circ}\text{C}$
BP_i	nabídková cena hodnocené nabídky	bod
W_{BP}	váha kritéria	bod
v	relativní objemové opotřebení	mm^3
V_n	objemové opotřebení nástroje	mm^3
V_o	odebraný objem materiálu obrobku	mm^3



A) ÚVOD – OBECNÁ CHARAKTERISTIKA DANÉHO PROBLÉMU

Tato práce byla zpracována v konkrétním strojírenském podniku, kde jsem byl rovněž zaměstnán. To mně umožnilo zpracování mé diplomové práce nejen na základě vědomostí, které jsem získal studiem VŠ, dále pak rozšířil studiem mnoha informačních zdrojů k danému tématu, ale ve značné míře i z pracovní činnosti v konkrétním podniku. Znalost pracovního prostředí tohoto podniku a jeho strojního i ostatního technicko-výrobního vybavení, mělo pro mne velký význam. Neméně významné bylo i to, že jsem měl možnost se seznámit nejen se současným stavem, ale především se záměry na budoucí strojní a s tím související ostatní technicko-výrobní vybavení. Tato skutečnost významně ovlivnila zaměření mé práce. Měla i zásadní vliv na cíle, které jsem si ve své práci stanovil, a to i nad rámec zadání. Moje úsilí proto směřuje ke splnění těchto cílů a v dalším postupu se tím budu při zpracování řídit. V závěru pak vyhodnotím, jak se mi tyto cíle a tím i zadání pro mou práci podařilo splnit.

Zaměření mé práce vychází ze zadání, proto řeší v nezbytném rozsahu obecnou charakteristiku progresivních technologií obrábění, resp. jejich vymezenou část. V tomto oboru se pochopitelně opírám o analýzu současného stavu a zejména pak o přehled dostupných technologických a přitom špičkových zařízení v oboru.

Mým prvním cílem bylo zaměřit se na praktické pohledy, k čemuž mi přispěl můj pracovní poměr a s tím současně získané zkušenosti. Ověřil jsem si, že majitelé i celé vedení jsou si vědomi, že nové investice do rozvoje výrobní základny se opírají o znalost trhu s odbytem jeho výrobků. To považuji za základní podmínku, aby byla zajištěna návratnost investic, tj. plné využití pořízených zařízení.

Neméně důležitou podmínkou je, aby si firma byla vědoma toho, že obsluha špičkové technologie vyžaduje vysoce kvalifikované pracovníky. Svou budoucí investici musí účelně rozdělit jak do hmotných fondů, tak i do rozvoje pracovních zdrojů. Snažil jsem se proto, aby moje práce mohla být i metodickou pomůckou zejména pro získání mladých talentů. Toto vše jsem považoval za další z cílů mé práce.



Stěžejním cílem bylo navrhnout a při praktickém výběru nových zařízení pak uplatnit návrh postupu a tím firmě napomoci s výběrem dodavatele, resp. konkrétního zařízení.

Práce je pak rozšířena o experimentální práce a řadu laboratorních měření a dalších hodnocení.

Neméně důležitou částí je pak podrobné ekonomické hodnocení. Tím dokládám, že nové investice jsou plně opodstatněné nejen k zabezpečení budoucích cílů firmy, upevnění její pozice na trhu, udržení stávajících i získání nových zákazníků. Současně dokládám, že výrazně přispějí k vlastní ekonomice firmy, dalšímu vytváření potřebných zdrojů nejen pro budoucí rozvoj, ale i pro uspokojivé řešení sociálních otázek, při zvyšování motivace i zajištění dalšího vzdělávání.

V závěru pak zhodnotím, do jaké míry se mi podařilo mé cíle splnit, případně jaké další poznatky jsem získal.



Firma Robotrio

Firma Robotrio s.r.o. vznikla v roce 1998 a od začátku své působnosti se specializuje na elektroerozivní obrábění kovů na drátových řezačkách.

V současnosti má firma k dispozici široký sortiment moderních výrobních technologií v oboru elektroerozivního drátového řezání a hloubení. Nabízí soustružení, frézování a broušení na konvenčních i na CNC obráběcích strojích. Podstatnou součástí je kvalitně vybavené měrové kontrolní středisko. V současnosti je hlavním programem zakázková výroba přesných strojírenských součástí a dílů, výroba tvářecích a lisovacích nástrojů, nástrojářské práce, leštění a lapování a výroba montážních přípravků.[1]

Současný stav technologického vybavení ve výrobě:

- EDM drátová řezačka CUT2000
- EDM drátová řezačka ROBOFIL 640 CC
- EDM drátová řezačka ROBOFIL 440 CC
- EDM drátová řezačka ROBOFIL 290
- Hloubicí stroj FORM 3000
- Hloubicí stroj Roboform 350
- Propalovačka Drill 20
- Horizontální obráběcí centrum MH – 500
- Vertikální obráběcí centrum MCV 1270 SPEED
- Soustruh Doosan PUMA GT2600
- Soustruh Doosan N280S[1]

B) NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ

Fyzikální obráběcí technologie jsou založeny na využití fyzikálního nebo chemického principu úběru materiálu. Jde hlavně o bezsilové působení na obráběný materiál, při kterém nevznikají klasické třísky, jak je běžné u obrábění s řeznými nástroji. U třískového obrábění je obrobiteľnosť omezena mechanickými vlastnostmi (tvrdost, pevnost). Nekonenční metody obrábění se dělí podle principu úběru materiálu do následujících tříd.[2]

Nekonenční metody podle převládajících účinků oddělování materiálu se dělí na:

a) Oddělování materiálu tepelným účinkem:

- Elektroerozivní metody obrábění (EDM – Electro Discharge Machining)
- Obrábění paprskem laseru (LBM – Laser Beam Machining)
- Obrábění paprskem plasmu (PBM – Plasma Beam Machining)[2],[3]

b) Oddělování materiálu chemickým nebo elektrochemickým účinkem:

- Chemické obrábění (CH, CHM – Chemical Machining)
- Elektrochemické obrábění (ECM – Elektro Chemical Machining)[2]

c) Oddělování materiálu mechanickým účinkem:

- Obrábění paprskem vody (WJM – Water Jet Machining)
- Ultrazvukové obrábění (USM – Ultra Machining)[2]

Charakteristika nekonvenčních technologií

- Rychlost a výkonost není závislá na mechanických vlastnostech obráběného materiálu
- Efektivnější obrábění složitých tvarů
- Obráběcí nástroj nemusí být tvrdší a pevnější než obráběný materiál
- Možnost zefektivnění výroby
- Lepší dosažení vlastností povrchové vrstvy obráběného materiálu [4]

Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění:

Metoda	Drsnost Ra [μm]	Stupeň přesnosti IT	Hloubka ovlivněné vrstvy [μm]	Úběr [cm ³ .min ⁻¹]	Měrná spotřeba energie [kWh.cm ⁻³]
Elektroerozivní obrábění	50 až 0,2	6 až 12	10 až 300	10 ⁻⁴ až 0,6	0,1 až 1
Obrábění paprskem laseru	50 až 6,3		100	10 ⁻⁴	8 až 13
Obrábění paprskem plasmy			500 až 800	100	
Ultrazvukové obrábění	6,3 až 0,4	7 až 9	Beze změn	10 ⁻² až 10	0,07 až 0,8
Elektrochemické obrábění	2,5 až 1,6	9 až 12	Beze změn	0,05 až 0,5	0,1 až 0,3
Elektrochemické broušení	0,8 až 0,2	6 až 9	Beze změn	10 ⁻²	0,04 až 0,08
Obrábění paprskem elektronů	50 až 6,3		Beze změn	10 ⁻² až 0,4	

Tabulka 1 Technologické parametry vybraných nekonvenčních metod obrábění [3]



1. Elektroerozivní metody obrábění

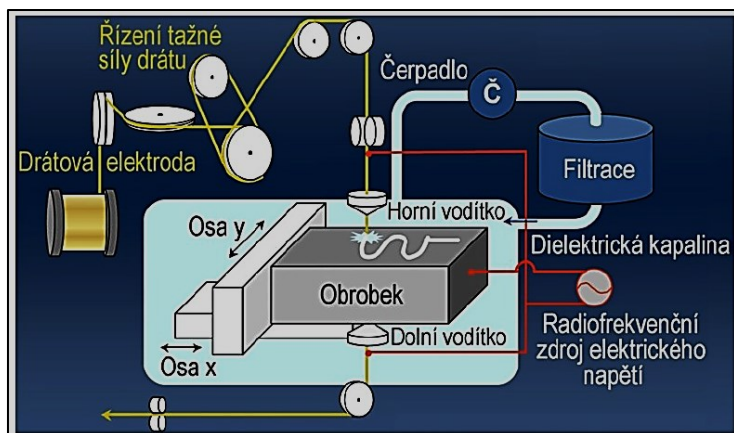
1.1 Historie elektroeroze

V roce 1768 si fyzik Joseph Priestly poprvé všiml, jak se chovají plyny při elektrickém výboji. Zaznamenal vznik malých kráterů v důsledku elektrických výbojů na plochách ležících proti vodivým elektrodám. Díky vzniku kráteru docházelo k úbytku materiálu.[9]

O další důležitý milník v historii elektroeroze se postarali v letech 1938 až 1945 sovětsí vědci B. R. Lazarenko a jeho manželka N. I. Lazarenko. Vypracovali jako první teoretické základy a zkonstruovali funkční model stroje, který si nechali patentovat. Začátek průmyslového využívání elektroeroze se datuje od roku 1950 až 1954, kdy se poprvé stroje objevily na veletrzích a výstavách. Dlouhou dobu se elektroerozivní technologie zlepšovala ve dvou důležitých směrech – pokrokem vývoje generátorů a zdokonalováním mechanických částí strojů. První dostupné komerční stroje se začaly prodávat v roce 1969 ve Švýcarsku. Od této doby jsou nepostradatelnou součástí mnoha strojírenských společností.[9],[5]

1.2 Princip elektroeroze

Jedná se o elektrotepelný proces, při kterém dochází k úběru materiálu pomocí elektrického výboje mezi katodou a anodou. Tito dva činitelé musí být ponořeni do dielektrické vodivé kapaliny. Je to kapalina s vysokým elektrickým odporem (destilovaná a deionizovaná voda, strojní nebo transformované oleje, speciální dielektrika atd). Působením enormní energetické koncentrace se materiál začne tavit a zároveň odpařovat. V oblasti tavení vzniká teplota až 12 000 °C. Podrobné schéma elektroerozivní technologie je znázorněno na obrázku pod textem. [6],[5]



Obrázek 1 Schéma EDM [7]

Vzdálenost výboje mezi elektrodou a obráběným materiálem je 5 až 10 μm . Záleží na typu a parametrech stroje. Elektroerozivnímu jevu podléhají téměř všechny elektricky vodivé kovy. Výboj mezi katodou a anodou lze docílit stacionárně v podobě elektrického oblouku nebo také nestacionárně v podobě jiskry. Pro funkčnost procesu je důležité zapojení elektrod na zdroj stejnosměrného napětí s volitelně nastavitelným vnitřním odporem.[7]

Částice obráběného materiálu se odtavují při opakujících se po sobě impulzních výbojích. Při výboji dochází k tepelnému úběru materiálu a vzniku mikroskopického kráteru na obráběné ploše. Rozměrová přesnost a jakost opracované plochy závisí na velikosti vzniklého kráteru na obráběné ploše. Vzniklé mikročástice uvolněné při obráběcím procesu se odplaví pomocí trysek umístěných v hlavě obráběcího stroje. Potřebný tlak trysek se volí podle výšky a složitosti obráběné plochy a typu materiálu. Sílu a energii impulzů určují předem nastavené parametry, které jsou odlišné podle druhu elektrody a obráběného materiálu. Podle množství přivedené elektrické energie vzniká rozdílná hloubka a průměr vytvořeného kráteru. Díky tomu je ovlivněna přesnost a drsnost opracované obráběné plochy.[6],[8]

Elektroerozivní obrábění je výhodnější zvolit při kombinaci těchto faktorů:

- a) Typ obráběného materiálu
 - Nevhovující obrobitelnost materiálu (pevnost a křehkost, vysoká tvrdost)[4]

- b) Typ operace
 - Složitý nebo nepravidelný tvar
 - Díry s velkým poměrem hloubky k průměru
 - Úzké štěrby apod.
 - Velké množství malých děr
 - Díry s malým průměrem[4],[9]

Parametry charakterizující proces elektroerozivního obrábění[4]:

- Strojové zařízení pro EDM – tuhost a stabilita, kapacita průtoku dielektrika, řídicí systém a stupeň automatizace.

- Elektrické podmínky vzniku výboje – výsledný tvar výboje, energie impulzu a frekvence výboje, trvání výboje.

- Dielektrikum – chemické složení a fyzikální vlastnosti, stupeň kontaminace odpadu z elektroeroze, intenzita a způsob proudění dielektrika, pracovní vzdálenost mezi elektrodami.

- Obráběný materiál – fyzikální a chemické vlastnosti, výsledný tvar a rozměr.

- Nástrojová elektroda – fyzikální a chemické vlastnosti, tvar a rozměry.

Technické a ekonomické ukazatele elektroerozivního procesu[4]:

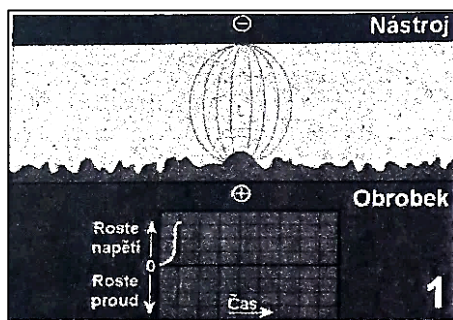
- Čas obrábění
- Intenzita objemového úběru materiálu
- Geometrie a vlastnosti povrchové vrstvy po opracování
- Relativní opotřebení nástrojové elektrody

Technologické využití elektroerozivních metod:

- Výroba tvarově složitých otvorů a obvodů, např. funkční tvary ve střižnicích, řezné a střižné nástroje ze spékaných karbidů, složité tvary šablon
- Super- přesné elektroerozivní broušení děr. (přesnost broušeného průměru 30 μm)
- Přesné tvarové dokončování
- Výroba zápustek na hloubení dutin
- Vyřezávání složitých tvarů střižníků, jako náhrada frézování
- Obrábění ultra-tvrdých vodivých materiálů
- Řezání nitridu boru
- Řezání polykrystalů diamantu na výrobu tvarových řezných nástrojů[4],[3],[10]

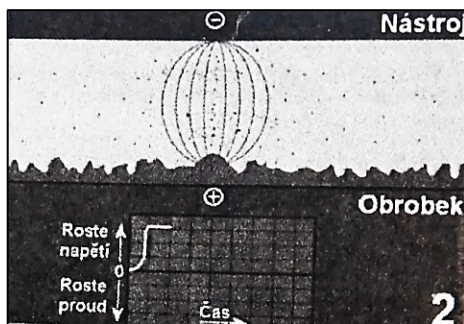
Popis fáze výboje mezi elektrodou a obráběnou plochou[6]:

1. Na počátku periody začíná růst napětí a proud je zatím nulový. Intenzita elektrického pole je konstantní vzdálenosti mezi nástrojem a obráběnou plochou. S větším rozdílem vzdálenosti se intenzita elektrického pole zmenšuje.[6]



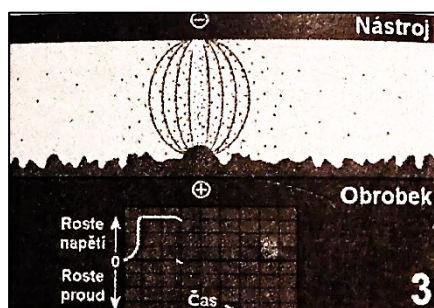
Obrázek 2 První průběh fáze výboje [6]

2. Po časové prodlevě se zvýší napětí na maximální hodnotu a drží se v konstantním cyklu, proud je nulový. Vznikají ionizované částice, izolační vlastnosti kapaliny klesají.[6]



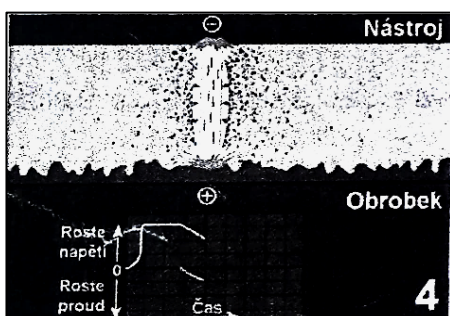
Obrázek 3 Druhý průběh fáze výboje [6]

3. Při překročení přípustné meze ionizovaných částic se dielektrikum přestává chovat jako izolátor a mezi nástrojem a obrobkem začíná protékat proud. Ve stejnou dobu začíná napětí klesat a proud růst. [6]



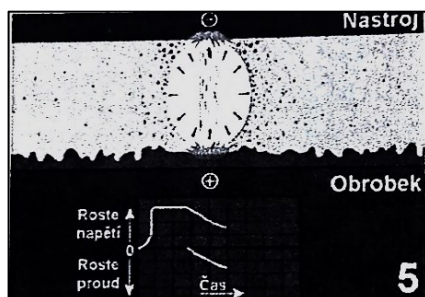
Obrázek 4 Třetí průběh fáze výboje [6]

4. Při zvyšování proudu rychle narůstá teplo v ovlivněné oblasti, díky tomu se odpařují mikro-vrstvy obráběného materiálu, nástrojové elektrody a částčky dielektrické kapaliny. Mezi nástrojem a obrobkem dochází ke vzniku jiskry neboli jiskrovému kanálu. [6]



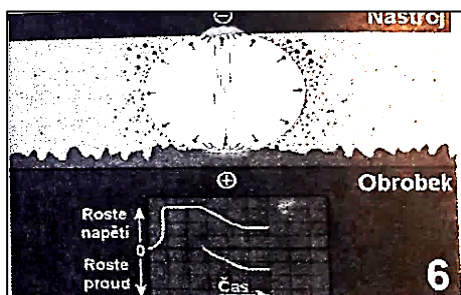
Obrázek 5 Čtvrtý průběh fáze výboje [6]

5. Částice obráběného materiálu a elektrody spolu s dielektrikem se odpařují. Dochází ke hromadění par a ke vzniku bubliny, která má tendenci se neustále roztahovat avšak ionizované částice par jsou přitahovány silným elektromagnetickým polem. Proud stále roste a napětí klesá úměrně tomuto růstu. [6]



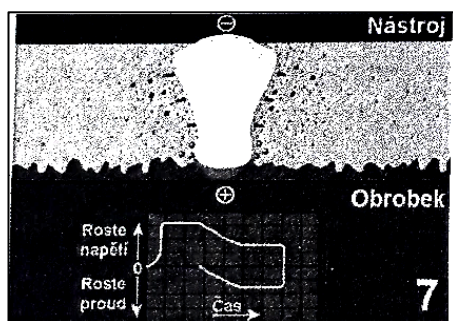
Obrázek 6 Pátý průběh fáze výboje [6]

6. Po určité době se zvýší tlak a teplota vzniklých par na maximum. Proud a napětí je v konstantní rovnováze, dochází k natavení v ovlivněné oblasti. Vše probíhá ve vzniklé bublině, která zadržuje odtavený materiál. V jiskrovém kanále se tvoří přehřátá plazma. [6]



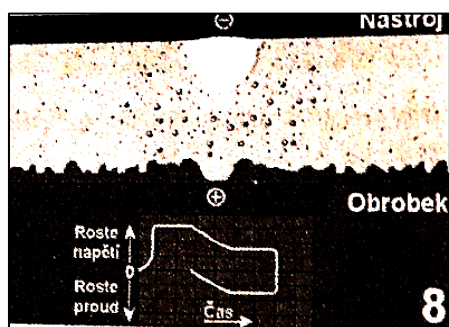
Obrázek 7 Šestý průběh fáze výboje [6]

7. Proud začíná klesat a teplota také spolu s napětím. Bublina tvořena z plazmy se kvůli poklesu hodnot elektromagnetického pole začíná rozpadat. Ionty již nejsou nadále přitahovány k jiskrovému kanálu. Dochází k destabilizaci roztaveného materiálu a následně k oddělení od obráběné plochy. [6]



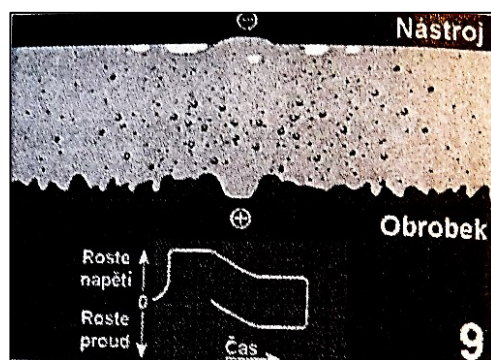
Obrázek 8 Sedmý průběh fáze výboje [6]

8. V oblasti kontaktu zaručuje dielektrikum odplavení odpadních částic odtavených po explozi bubliny a zároveň působí jako chladicí kapalina. Teplota dielektrika se musí udržovat v konstantní teplotě, aby nedošlo k poškození obráběné plochy. Neodplavený roztavený materiál má tendenci ihned tuhnout, proto je důležité nastavit odpovídající parametry obráběcího procesu. [6]



Obrázek 9 Osmý průběh fáze výboje [6]

9. Oddělený odpad ztuhne a jeho mikročástice se rozptýlí v kapalině. Pokud je nastavena při procesu krátká doba pauzy mezi po sobě opakujícími se výboji, může dojít k porušení izolačních vlastností a k nestabilitě jiskry. Díky tomu může být poškozena obráběná plocha. [6]



Obrázek 10 Devátý průběh fáze výboje [6]

1.3 Charakteristika povrchu vytvořená po elektroerozivním obrábění

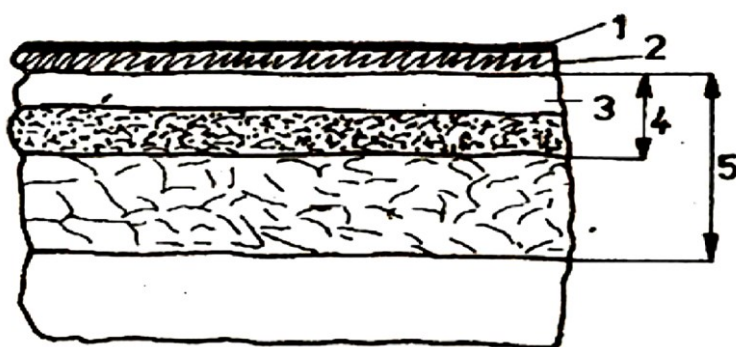
Charakter mikrogeometrie povrchu po elektroerozivním obrábění se liší od povrchů opracovaných konvenčními metodami obrábění. Místo běžných stop po nástrojích povrch vytvoří staticky nepravidelné krátery od jednotlivých elektroerozivních výbojů. Opracovaný povrch bude mít díky výbojům stejnou charakteristickou drsnost ve všech směrech.[9],[4]

Tabulka 2 Přesnost rozměrů při zvolených parametrech EDM [4]

Způsob opracování	Přesnost rozměrů (mm)	Drsnost povrchu Ra (μm)
Hrubé opracování, velká energie výbojů	(±0,02)- (±0,5)	Ra > 6μm Rz ~ 25μm
Normální opracování	(±0,01)- (±0,02)	Ra = 2 – 6 μm Rz = 8 – 25 μm
Jemné a velmi přesné obrábění, vysokofrekvenční zdroje řezání	(±0,005)- (±0,01)	Ra = 0,8 – 2 μm Rz < 6 μm
Elektroerozivní leštění	až ±0,002	Ra = (0,1); 0,2 – 0,8 μm Rz < 2,5 – 4 μm

Drsnost povrchu a stav povrchové vrstvy je jedna z nejdůležitějších technologických charakteristik, které vymezují oblast použití elektroerozivního obrábění. Kvalita povrchu závisí na energii jednotlivých výbojů, které určují rozměr vzniklých kráterů. Z hlediska technologického platí, že nejkvalitněji opracovaná plocha povrchu vzniká při nižších hodnotách proudu, krátkých impulzech a vysokých frekvencích výbojů. Díky tomu dochází ke zvýšenému opotřebení nástrojové elektrody.[9],[4]

Každý jednotlivý výboj je soustředěný na malou plochu, a proto je měrné tepelné zatížení plochy vysoké. Mikro-geometrie opracovaného povrchu závisí na podmínkách obrábění (tepelně-fyzikální vlastnosti obráběného povrchu materiálu, rozměry obráběného povrchu, pracovní dielektrikum atd.). Největší význam mají elektrické parametry elektroerozivního obrábění. Díky vlivu vysokých teplot je obráběný povrch obrobku namáhán strukturálními a chemickými změnami, čemuž také pomáhá vniknutí částic z dielektrika a někdy také z pracovní elektrody do povrchové vrstvy obráběné plochy. Na povrchu obráběné plochy vzniká tenká vrstva, která má rozdílné vlastnosti než základní materiál (vyšší tvrdost, rozdílné antikorozní vlastnosti atd.). [9],[4]



Obrázek 11 Vytvořené vrstvy po elektroerozivním obrábění [6]

- 1 – Mikrovrstva vytvořená chemickými sloučeninami, vznik difuzí prvků dielektrické kapaliny
- 2 – Vrstva vzniklá z mikročástic nástrojové elektrody
- 3 – Silně nauhličená ztuhnutá vrstva s jemnou strukturou martenzitu, tvrdost 60 HRC, tloušťka od 0,04 mm a do několika desetin milimetrů v závislosti od energie impulsů
- 4 – Pásmo tepelného ovlivnění
- 5 – Pásmo plastické deformace vyvolané tlakovým rázem impulsů [7]

Výzkum těchto vrstev ukázal, že jsou vytvořeny rychlým tuhnutím rozhřaveného materiálu, který ve stejnou dobu tepelně účinkoval s dielektrickou kapalinou. Vrstvy také obsahují materiál nástrojové elektrody.[4]

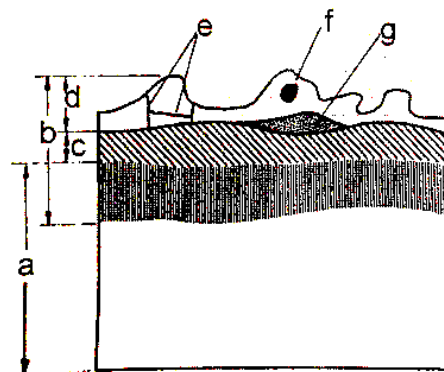
1.4 Vliv charakteru povrchu na mechanické a pevnostní vlastnosti

Odolnost proti opotřebení v porovnání s konvenčně opracovanými povrchy může být na povrchu zhotoveným elektroerozivním obráběním o dost vyšší. Mechanická pevnost je při statickém zatížení součástí elektroerozivní metodou obrábění stejná jako pevnost součástí vyrobené konvenčním způsobem.[4]

Únavová pevnost je v důsledku existence přetavené vrstvy a přítomností vysokých napětí o něco nižší (při elektroerozivním obrábění žárupevných slitin při dokončování je pokles 5 – 10 %. Vznik mikrotrhlin v povrchové vrstvě způsobuje ještě rychlejší pokles únavové pevnosti. Zkoušky ukázaly, že odstranění první vrstvy (bílá vrstva) zvyšuje únavovou pevnost o 4 – 5%, ale odstranění celé ovlivněné vrstvy obnovuje únavovou pevnost až na 95% původního stavu. Specifický charakter povrchové vrstvy se kladně projeví při výrobě zápusťek a lisovacích nástrojů tím, že se zvýší jejich pevnost a životnost. Odolnost proti korozi po elektroerozivním obrábění závisí hlavně na drsnosti obrobeného povrchu.[4]

S menší drsností bude odolnost proti korozi větší. Důležitým faktorem také může být specifický charakter mikrogeometrie povrchu po elektroerozivním obrábění a existence mikrotrhlin na povrchu.[4]

- a) Základní struktura
- b) Oblast napětí
- c) Oblast přeměny
- d) Okrajová oblast
- e) Mikrotrhliny
- f) Pórovité otvory
- g) Spodní okrajová oblast[4]



Obrázek 12 Mikrogeometrie povrchu po obrábění EDM [4]

1.5 Pracovní podmínky a charakter výboje

Podle časového průběhu dodávané energie do místa výboje rozdělujeme elektrické výboje na:

- Výboj elektrickou jiskrou
- Výboj nestacionárním krátkodobým elektrickým obloukem[6]

Elektrické obvody RC používají na akumulaci elektrické energie, která se vybíjí ve formě jiskrového výboje, kondenzátor. V některých případech je možné použít obvod bez kondenzátoru, ale už se nebude jednat o vznik jiskrového výboje, ale elektrického oblouku.[4]

Elektrojiskrové výboje:

Charakteristickým znakem pro elektrojiskrové výboje je krátká doba impulsu (časový úsek mezi zapojením a odpojením generátoru) při malých hodnotách časového využití výboje a při velmi vysokých frekvencích výboje. Ve výbojovém kanálu se tvoří větší elektronová vodivost, která vyvolává větší úbytek anody vůči katodě. V místě vzniku elektrojiskrového výboje dosahuje teplota až 10 000 °C. V převážné míře jsou takto generované výboje využívány na úběr menšího množství materiálu.[9],[4]

Krátkodobé elektrické oblouky:

Krátkodobé elektrické oblouky se charakterizují delší dobou impulsu při vyšších hodnotách časového využití periody výboje a při nižších frekvencích výboje. Ve výbojovém kanále převládá z větší části iontová vodivost. Díky tomu dochází k uvolňování většího množství kladných částic, které vyvolávají svojí reakcí na katodu větší tepelný účinek a dochází k většímu úběru elektrody. Teplota elektrického oblouku se pohybuje mezi 3300 °C – 3600°C. [4]

Obrobitelnost je závislá na vlastnostech:

- Fyzikálně – chemické vlastnosti obráběného kovu
- Počet legujících prvků v kovu
- Teplota tavení
- Tepelná vodivost
- Měrná tepelná kapacita[4]

Mechanické vlastnosti nemají na obrobitelnost pomocí elektroerozivního obrábění žádný vliv. Mezi tyto vlastnosti patří tvrdost a plasticita. Další významný vliv na úběr materiálu mají vlastnosti nástrojové elektrody a doba trvání elektrického výboje. [9]

1.6 Pracovní kapaliny pro elektroerozivní obrábění

Jako nejpoužívanější pracovní kapaliny se používají elektrické nevodivé dielektrika, nejčastěji technický petrolej, transformovaný olej, směs petroleje a oleje, destilovaná a deionizovaná voda.[3]

Pracovní kapalina plní funkci[4],[3]:

- Chlazení elektrody
- Odstranění částic roztavené hmoty po elektroerozivním úběru
- Pomocná tvorba elektrického výboje mezi katodou a anodou
- Dosáhnutí výbojového napětí mezi 60 až 300 V
- Malá viskozita a smáčivost, aby se rychle obnovovala izolace po výboji
- Chemicky neutrální pro zamezení koroze[4],[3]
- Vysoká teplota hoření, pro zamezení vznícení
- Nenáročná na výrobu
- Hygienické a ekologické požadavky[4],[3]



Součástí všech moderních strojů je agregát na přívod, chlazení a čištění dielektrické kapaliny. Z hlediska vyplachování existuje několik konstrukčních možností uspořádání.[4]

1. **Vnější vyplachování** – nejběžnější metoda. Při obrábění hlubokých otvorů je nutno kombinovat s přerušným výplachem.[7]
2. **Tlakové vnitřní vyplachování** – dielektrikum je přiváděno otvorem uvnitř nástroje přímo do pracovního prostoru. Při zvolené metodě se dosahuje horší tvarové přesnosti na bočních plochách, protože oddělené částice jsou zdrojem bočních výbojů.[7]
3. **Vyplachování odsáváním** – dosahuje se velmi dobrá tvarová přesnost.[7]
4. **Pulzující vyplachování** – pomocí ovládání elektrody. Při vyjetí elektrody se vypíná pracovní proud a do pracovního prostoru je vpuštěna pracovní kapalina. Při hloubení složitých otvorů je vhodné kombinovat tlakové vnitřní vyplachování s odsáváním. Vysokorychlostní pulzující pohyby způsobují dielektrický tok, který rozptyluje a vyhání částice odpadu. Při nižší rychlosti výplach způsobuje deformaci v prohlubni a snižuje účinnost hloubení.[6]

1.7 Nástrojové elektrody

Na nástrojové elektrody jsou kladeny požadavky:

- Vysoká elektrická vodivost
- Vyhovující mechanická pevnost
- Vyhovující toleranční a tvarové rozměry
- Přijatelná cena [4]

Cílem elektroerozivního obrábění díky opakovaným výbojům na jedné elektrodě-obrobku je dosažení maximálního úběru materiálu a na druhé elektrodě-nástroji, co nejmenšího úběru materiálu, a také dosažení nejmenšího opotřebení nástroje. Vzniklé elektrické výboje způsobují postupné vytváření negativního otlacení nástrojové elektrody do obráběného materiálu. Malé částčky materiálu obrobku se díky vysoké koncentraci energie odstraňují tavením, odpařováním a odpalováním. Část celkové energie je absorbována nástrojovou elektrodou a následkem toho dochází k opotřebení nástroje. Úbytek elektrod je závislý hlavně na zvolených elektrických parametrech, na polaritě zdroje a fyzikálních vlastnostech materiálu. Mechanické vlastnosti nemají výrazný vliv na odolnost proti elektrické erozi. Další vlivy teploty tavení pro rozdílné materiály jsou uvedeny v Tab. 3, kde je TTAV teplota tavení materiálu, d délka vzniklého kráteru, h hloubka vzniklého kráteru, V_i objem vzniklého kráteru.[4],[3]

Tabulka 3 Vliv teploty tavení na obrobitelnost a velikost vzniklého kráteru[4]

Materiál	TTAV (°C)	d (mm)	h (mm)	V_i (mm ³)
W	3376	0,8	0,09	0,021
Cr	1902	0,7	0,11	0,025
Ti	1664	1,0	0,16	0,047
Fe	1538	1,3	0,20	0,133
Co	1494	1,3	0,21	0,133
Ni	1454	1,5	0,22	0,199



Rozměry jsou získány jednotlivým výbojem pomocí RC generátoru. Pro snadnější optimalizaci volby nástrojové elektrody byla zavedena poměrová veličina – **relativní objemové opotřebení**, pro kterou platí [4]

$$v = \frac{V_n}{V_o} \cdot 100 \quad [4]$$

V_n – objemové opotřebení nástroje (mm^3)

V_o – odebraný objem materiálu obrobku (mm^3)[4]

Hodnoty relativního objemového opotřebení jsou dány kombinací materiálu nástrojové elektrody, obráběného materiálu, polaritou, pracovním proudem a dobou trvání impulsu. Výška opotřebení se pohybuje od desetin procent až do několika desítek procent. Při hrubování oceli měděnou elektrodou je opotřebení kolem 0,5-3%, ale při dokončování se pohybuje v rozsahu 2-10%. Následkem úbytku nástrojové elektrody je ve všech případech zkreslení tvaru a rozměru obrobku. Proto se používají specifické sady elektrod: hrubovací, průběžné, dokončovací.[4]

Konstrukce a materiály nástrojových elektrod pro elektroerozivní obrábění

Nástrojové elektrody jsou složeny z pracovní části, která se podílí na procesu obrábění a pomocných fixačních elementů, důležitých na zamezení nežádoucího pohybu a pohybu elektrody. Pracovní část elektrody je vyrobena z erozivně odolného materiálu. Pomocné části mohou být také vyrobeny ze stejného materiálu nebo z levnějšího a vhodnějšího. Pro pracovní část se používá hliník, měď, wolfram, grafitové litiny apod. Při volbě materiálu elektrody se bere v potaz jeho trvanlivost, cena, stabilita při erozi, malá výrobní náročnost nástroje a stálost rozměrů elektrody.[4]



Měděné elektrody

Nejlepší výsledky dosahují elektrody, které mají pracovní část z mědi. Měď se také používá jako etalonový materiál při hodnocení a porovnávání elektroerozivních zařízení. Je odolná proti erozivnímu opotřebení, používá se na jemné dokončování povrchů a na obrábění karbidů při nižším výboji a při kratších časových výbojích. Vhodná pro obrábění karbidu wolframu.[4],[3]

Hliníkové elektrody

Používají se na předběžné opracování děr bez velkých přechodů osazení v součástkách z ocele a spékaných karbidů. Hliník a jeho slitiny jsou srovnatelné v mnoha případech obrábění a stejně odolné jako měď. Stabilita procesu při používání hliníkovými elektrodami je menší, ale velké množství druhů obráběných materiálů je porovnatelných při použití měděných elektrod. Velký vliv na odolnost materiálu proti opotřebení elektrody má hustota obráběné plochy. Lepší výsledky odolnosti jsou při výrobě nástrojového materiálu dosaženy kování, lisováním, přetlačováním.[9].[4]

Mosazné elektrody

Opotřebení je rychlejší jak u mědi. Používá se na hloubení úzkých otvorů a na méně přesné drážky, kde nemůže být výrazně ovlivněna přesnost rozměrů.[4]

Elektrody ze slitiny mědi

Používají se při obrábění spékaných karbidů otáčející se elektrodou. [4]

Elektrody z wolframu

Vyznačují se vysokou trvanlivostí, ale velká pevnost a špatná obrobitelnost není vhodná k širokému použití při výrobě složitých tvarů součástí. Nejčastěji se používají při hloubení malých děr do 0,2mm v ocelích nebo žárupevných slitinách nebo při rozřezávání stejných materiálů. [4],[9]

Měď – wolframové a stříbro- wolframové elektrody

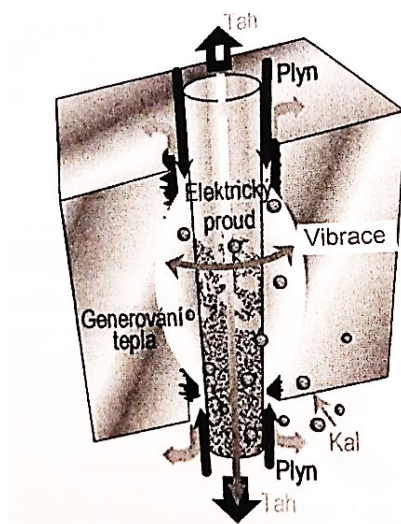
Nejčastěji se používají na hloubení úzkých drážek a otvorů, na jemné práce při nepříznivých podmínkách proudění dielektrika do místa úběru. Spečením legur z wolframu a mědi se uplatnilo při obrábění tvrdých materiálů a keramiky. [4]

Elektrody z grafitu

Kovové elektrody jsou dnes častěji nahrazovány elektrodami z grafitu. Grafit má dobré obráběcí vlastnosti a také vysokou teplotu tavení (cca 3 000 °C), vysokou trvanlivost a je odolný proti opotřebení. Používá se na opracování ocelí pro výrobu složitých tvarových nástrojů, hlavně při hrubování. Díky jeho menší tepelné roztažnosti je zaručena větší přesnost opracování. [4]

Elektrody z šedé litiny

Používají se na obrábění slinutých karbidů. Vyznačují se vysokou trvanlivostí, avšak velká pevnost a špatná obrobitelnost není vhodná pro obrábění složitějších tvarů. [9]

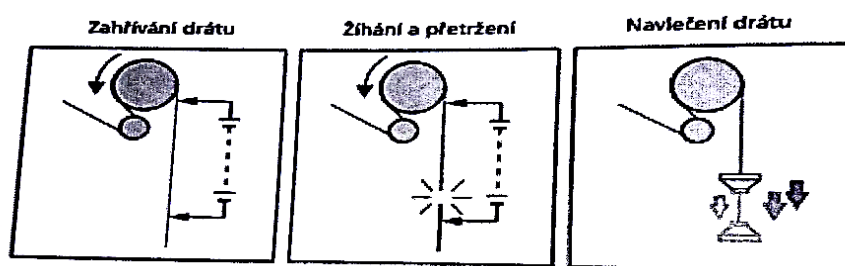


Obrázek 13 EDM schéma řezu drátem [6]

1.8 Navlékání drátu

Automatické navlékání drátu se zdvojeným mechanismem

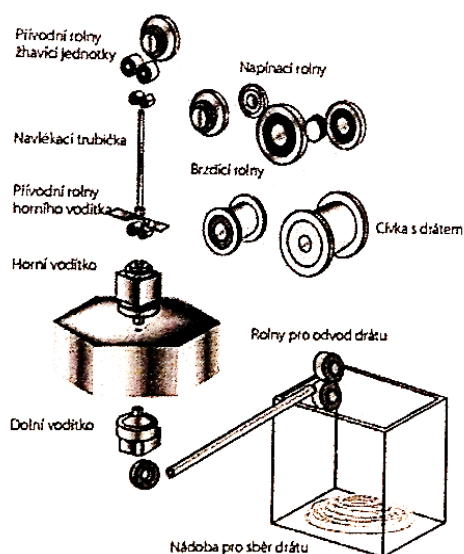
Drátová elektroda se nahřívá elektrickým proudem. V další fázi probíhá ochlazování drátu a díky oboustrannému protitahu dochází k přetržení drátu. V místě oddělení vzniká díky teplotě a pnutí vyrovnaná vyžíhaná drátová elektroda, která je na konci absolutně hladká a zmenšená. Díky tomu je usnadněno navlékání do vodítek pro drátovou elektrodu.[7]



Obrázek 14 Schéma navlékání drátu s duálním servomechanismem [7]

Automatické navlékání drátu žiháním a odstřížením

Po vyžihání drátu dojde k přestřižení. Navlékání se provádí ve volném prostoru, ve startovním otvoru s vodním paprskem. V některých případech lze použít navlékání drátu bez pomocného vodního paprsku. [7]



Obrázek 15 Schéma automatického navlékání drátu [6]



Automatické navlékání pomocí vodní trysky

Na začátku procesu se drátová elektroda pomocí naváděcího vodního paprsku automaticky navleče do vodička. Při navlékání do startovacího otvoru malé velikosti nemusí automatické navlékání vždy fungovat. Doba trvání je kolem 30 sekund. [7]

1.9 Druhy řezů

- 1) **Hrubovací řez** – vzniká tvar obrobku. Doba trvání je nejdelší ze všech řezů. Při procesu řezání se počítá s přídavkem pro další řezy. Parametry stroje jsou nastaveny na maximální úběr obráběné plochy.[6]
- 2) **Kalibrační řez** - Úběr materiálu je pouze okrajový. Kalibračních řezů může být více, záleží na finální kvalitě drsnosti obrobeného povrchu.[6]
- 3) **Dokončovací řez** – odebírá zbylý přídavek. Doba řezu je kratší než u ostatních řezů.[6]

C) SOUČASNÝ STAV EDM VE VÝROBĚ FIRMY ROBOTRIO.

ROBOFIL 290



Obrázek 16 EDM řezačka ROBOFIL 290[1]

Kompaktní výkonné centrum s koaxiálním výplachem a maximální přesností určené pro menší obrobky.[1]

Technické parametry:

- Pojezd x y z (mm) - 400 x 245 x 200
- Maximální velikost obráběné součásti (mm) - 600 x 300 x 200
- Maximální hmotnost obráběné součásti (kg) - 1000[1]

ROBOFIL 440CC



Obrázek 17 EDM řezačka ROBOFIL 440CC[1]

Vysoce výkonné EDM centrum představující špičku střední třídy drátových řezaček Charmilles. Díky převratné koncepci generátoru ROBOFIL 440CC dosahuje rychlosti řezání až $400 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. a drsnosti povrchu $Ra 0,2 \text{ } \mu\text{m}$. [1]

Technické parametry:

- Pojezd x y z (mm) - 535 x 340 x 410
- Maximální velikost obráběné součásti (mm) - 800 x 600 x 420
- Maximální hmotnost obráběné součásti (kg) - 1000[1]

ROBOFIL 640CC



Obrázek 18 EDM řezačka ROBOFIL 640CC[1]

Špičkový stroj určený pro rozměrově větší obrobky s výškou řezu až 510 mm. Řezání probíhá v dielektriku, přesnost a drsnost je zachována vůči výšce obráběné plochy. [1]

Technické parametry:

- Pojezd x y z (mm) - 790 x 550 x 510
- Maximální velikost obráběné součásti (mm) - 1200 x 800 x 510
- Maximální hmotnost obráběné součásti (kg) - 3000
- Drsnost obráběného povrchu až Ra 0,2 μ m a maximální řezná výška 510mm[1]

CUT 2000S



Obrázek 19 EDM řezačka CUT 2000S[1]

Obráběcí elektroerozivní drátové centrum s přesností řezu $\pm 0,002$ mm a drsností povrchu až $Ra\ 0,05\mu m$ je dílem několika progresivních technických řešení mechanického konceptu, bezchybného procesu obrábění a vedení drátu. Všechny díly podléhají tvrdým zkouškám, které zaručují vysokou životnost. Díky zavedení inteligentní řídicí jednotky generátoru napájení jsou doby obrábění výrazně sníženy. [1]

Technické parametry:

- Pojezd x y z (mm) - 350 x 250 x 256
- Maximální velikost obráběné součásti (mm) - 750 x 550 x 250
- Maximální hmotnost obráběné součásti (kg) - 800
- Drsnost obráběného povrchu až $Ra\ 0,05\mu m$
- Dostupné průměry drátů (mm) 0,1 – 0,3 [1]

D) NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE

Při neustálém navyšování výroby a technickému pokroku je důležité investovat zisk do koupě nové elektrodrátové technologie, díky které bude navýšena výrobní kapacita. Výroba se zaměřuje z 90% na výrobu lisovacích dílů pro odvětví automobilů. V praktické části diplomové práce bude uveden ukázkový postup výběrového řízení, který může sloužit jako pomůcka při koupi nových strojních technologií. Díky nejmodernějším technologiím má koncepce CNC obráběcích strojů stále narůstající uplatnění ve výrobě. Cílem každého podniku je vyrábět velké množství výrobků za nejkratší dobu s vysokou přesností. Jednotlivé parametry budou porovnány mezi sebou a bude vybrána nejvhodnější nabídka.

1. Systém hodnocení

V rámci hodnotícího procesu bylo nejdříve zkontrolováno, zda nabídka splňuje požadavky na předmět zakázky dle podmínek daných zadávací dokumentací a správnost a úplnost všech součástí nabídky. Nabídky budou vyhodnoceny dle ekonomické výhodnosti a nejvhodnějších parametrů.[11]

Ekonomická výhodnost bude posuzována na základě:

- **Nabídkové ceny bez DPH** (váha kritéria 50 bodů)
- **Servisních podmínek** (váha kritéria 20 bodů)
- **Parametrů stroje** (váha kritéria 10 bodů)
- **Vzorků** (váha kritéria 20 bodů)

Každé jednotlivé kritérium ekonomické výhodnosti bude hodnoceno samostatně. Celkový bodový zisk nabídky bude určen jako součet bodového zisku za všechna kritéria. Všechny výsledné dílčí hodnoty budou zaokrouhleny na dvě desetinná místa. Bude vybrána nejvhodnější nabídka. Všechny parametry se sečtou podle následujícího vzorce.[11]

$$b_T = b_{Pi} + b_S + b_{Ps} + b_M \quad [12]$$

kde b_T je celkový bodový zisk příslušné nabídky, b_{Pi} je bodový zisk za kritérium nabídková cena, b_S je bodový zisk za kritérium servisní podmínky, b_{Ps} je bodový zisk za kritérium parametry stroje, b_M je bodový zisk za kritérium vzorek

Hodnocení jednotlivých kritérií:

Nabídka s nejnižší nabídkovou cenou získá za toto kritérium **50 bodů**.

U ostatních nabídek bude bodový zisk určen podle následujícího vzorce:

$$b_{Pi;S;Ps} = \frac{BP_{min}}{BP_i} \cdot W_{BP} \quad [12]$$

kde b_{Pi} je bodový zisk za nabídkovou cenu, b_S je bodový zisk za kritérium servisní podmínky, b_{Ps} je bodový zisk za kritérium parametry stroje, BP_{min} je nejnižší nabídková cena, BP_i je nabídková cena hodnocené nabídky, W_{BP} je váha kritéria

1.1 Servisní podmínky

Hodnocení servisních podmínek bude provedeno na základě následujících parametrů:

- Cena za jednu hodinu práce servisního technika
- Cena za dopravu náhradních dílů (cena za 1 km) [platí pouze pro drahé náhradní díly]
- Cena za jednu hodinu cesty technika [doba cesty všech techniků cca. 4 až 6 hodin]
- Garantovaná doba započetí servisních prací od nahlášení závady
- Garantovaná doba dodání do místa opravy v kalendářních dnech

Parametry servisních podmínek budou hodnoceny následujícím způsobem:

Cena za jednu hodinu práce servisního technika	Nabídka s nejnižší cenou získá 10 bodů. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: Nejnižší cena kritéria / Nabídková cena kritéria * 10
Cena za dopravu náhradních dílů (cena za 1 km)	Nabídka s nejnižší cenou získá 2 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: Nejnižší cena kritéria / Nabídková cena kritéria * 2
Cena za 1 hodinu cesty technika	Nabídka s nejnižší cenou získá 4 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: Nejnižší cena kritéria / Nabídková cena kritéria * 4
Garantovaná doba započetí servisních prací od nahlášení závady (v hodinách)	Nabídka s nejkratší dobou získá 2 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: Nejkratší nabídnutá doba / Doba v nabídce * 2
Garantovaná doba dodání náhradních dílů (v kalendářních dnech)	Nabídka s nejkratší dobou získá 2 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: Nejkratší nabídnutá doba / Doba v nabídce * 2

Všechny výsledné dílčí hodnoty budou zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

Bude-li některý z hodnocených cenových parametrů naceněn hodnotou 0 (slovy: nula) bude pro umožnění výpočtu bodových zisků ostatních nabídek, jako nejnižší nabídková cena, použita hodnota 1 (slovy: jedna). V tomto hraničním případě tedy není relevantní, zda bude nabídka obsahovat hodnotu 0 nebo 1.

Celkově je tedy možné za hodnotící kritérium -"Servisní podmínky" **získat až 20 bodů.**



1.2 Parametry stroje

Hodnocení servisních podmínek bude provedeno na základě následujících parametrů:

- Rozsah os (x; y; z)
- Rozměry obrobku (x; y; z)
- Možnost použití drátu
- Řezaný úhel
- Drsnost povrchu

Parametry stroje budou hodnoceny následujícím způsobem:

Rozsah os x; y; z (objem)	Nabídka s největším objemem os (x; y; z) získá 1 bod. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Největší objem} / \text{Nabídnutý objem} * 1$
Maximální velikost obrobku (objem)	Nabídka s největším objemem (x; y; z) získá 2 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Největší objem} / \text{Nabídnutý objem} * 1$
Minimální průměr drátu (mm)	Nabídka s nejmenším průměrem drátu získá 1 bod. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Nejmenší průměr} / \text{Nabídnutý průměr} * 1$
Maximální průměr drátu	Nabídka s největším průměrem drátu získá 1 bod. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Nabídnutý průměr} / \text{Největší průměr} * 1$
Řezný úhel (min.30°)	Nabídka s největším úhlem získá 3 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Úhel v nabídce} / \text{Největší řezaný úhel} * 3$
Drsnost povrchu (Ra)	Nabídka s nejmenší drsností získá 2 body. Ostatní nabídky získají počet bodů určený následujícím vzorcem: $\text{Nejmenší drsnost} / \text{Drsnost v nabídce} * 2$

Všechny výsledné dílčí hodnoty budou zaokrouhleny na dvě desetinná místa.

Rozsah "os a "Maximální velikost obrobku" (objem) bude hodnocen jako násobek délky všech tří os.

Bude-li některý z hodnocených cenových parametrů naceněn hodnotou 0 (slovy: nula), bude pro umožnění výpočtu bodových zisků ostatních nabídek, jako nejnížší nabídková cena, použita hodnota 1 (slovy: jedna). V tomto hraničním případě tedy není relevantní, zda bude nabídka obsahovat hodnotu 0 nebo 1.

Celkově je tedy možné za hodnotící kritérium - "Parametry stroje" **získat až 10 bodů**.

1.3 Řezání vzorku

Vzorek je přesně zadán. Polotovary na zhotovení vzorku jsou zadány pro všechny účastníky stejně.

Vzorek se bude hodnotit jediným kritériem, a to je čas řezu. Při nesplnění rozměru nebo kvality řezu (jednoho, případně obou výrobků) dle výkresové dokumentace bude kritérium "Řezání vzorku" hodnoceno 0 body. Bude hodnocen součet dosažených časů řezu obou výrobků.

Nabídka s nejkratším časem řezu získá 20 bodů, Ostatní nabídky budou hodnoceny dle následujícího vzorce:

$$b_M = \frac{T_{min}}{T_r} * W_{BP} \quad [12]$$

kde b_M je bodový zisk za vzorek, T_{min} je nejkratší čas řezu, T_r je dosažený čas řezu, W_{BP} je váha kritéria

Výsledný bodový zisk za kritérium bude zaokrouhlen na dvě desetinná místa. Celkově je tedy možné za hodnotící kritérium "Řezání vzorku" **získat až 20 bodů**.

2. Vybrané testované EDM řezačky

2.1 Agie Charmilles CUT 3000

Vysoce přesná elektroerozivní drátová řezačka pro práci ve vodní lázni v uzavřené konstrukci s průměrem drátu 0,1-0,33 mm s automatickou sjížděcí vanou.



Obrázek 20 EDM řezačka CUT 3000

Konstrukce stroje:

- Obráběcí centrum s pěti osami z litinové konstrukce
- Duální měřicí systém pro osy X a Y
- Laserové a elektronická stabilizace ve všech osách
- Sjížděcí pracovní vana pro práci s lázní až do výšky 250 mm
- Ruční ovladač s elektronickým LCD panelem
- Dotykové měřicí cykly pro automatické zjištění pozice obrobku
- Dielektrický agregát se čtyřmi filtračními nádobami

Vedení drátu:

- Jedno kombinované vedení drátu bez vůle pro všechny průměry drátu 0,1-0,33 mm pro kolmé i kónické řezy $\pm 30^\circ$
- JET automatický systém navlékání drátu
- Pohon drátu pro cívky do 25 Kg



- Sekání použitého drátu a jímání do zásobníku
- Záchranná strategie automatického znovu navlečení po přetržení
- Navlékácká tryska do otvoru o průměru 1 mm

Řídicí systém:

- Řízení s multitaskingem (umožňuje současné řezání a programování)
- Ovládací panel s LCD barevnou obrazovkou
- Jednoduché programování kontury 2D přímo na stroji
- Funkce pro zkrácení a optimalizaci vedlejších časů
- Funkce dálkového online řízení procesu

Servisní podmínky:

Parametr	Hodnota
Cena za 1 hodinu práce servisního technika	500,00 Kč
Cena za 1 hodinu cesty technika	150,00 Kč
Cena za dopravu náhradních dílů (za 1 km)	8,00 Kč
Garantovaná doba započetí servisních prací	1/3 dne
Garantovaná doba dodání náhradních dílů	1 den

Tabulka 4 Servisní podmínky

Parametry stroje:

Parametr	Hodnota
Rozsah os (X, Y, Z)	500x350x256 mm
Maximální velikost obrobku (X, Y, Z)	1050x650x250 mm
Maximální použitelný průměr drátu	0,33 mm
Minimální použitelný průměr drátu	0,1 mm
Řezaný úhel (min 30°)	30°
Drsnost povrchu Ra (μm)	Až 0,05 μm

Tabulka 5 Parametry stroje

2.2 Fanuc α – C600 i A



Obrázek 21 EDM drátová řezačka Fanuc

Konstrukce stroje:

- Uzavřená zakrytovaná teplotně stabilní konstrukce
- Otevírací pracovní vana s automaticky nastavitelnou výškou hladiny
- Systém křížového stolu pro osy X/Y a U/V
-

Standartní vybavení:

- Řídicí systém FANUC s dotykovou LCD obrazovkou
- Inteligentní řízení rezného procesu
- Automatické hledání startovací díry
- 5 řízených os
- Centrální mazání stroje
- Ruční ovladač s rozšířenými funkcemi
- Max. 16 kg cívky drátu
- Automatické chlazení dielektrika
- Vysokorychlostní návlek drátu
- Automatické vrtání startovních otvorů

Servisní podmínky:

Parametr	Hodnota
Cena za 1 hodinu práce servisního technika	499,00 Kč
Cena za 1 hodinu cesty technika	150,00 Kč
Cena za dopravu náhradních dílů (za 1 km)	8,00 Kč
Garantovaná doba započetí servisních prací	1 den
Garantovaná doba dodání náhradních dílů	1 den

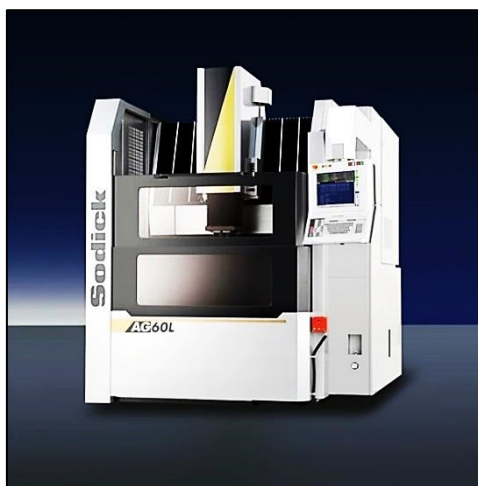
Tabulka 6 Servisní podmínky

Parametry stroje:

Parametr	Hodnota
Rozsah os (X, Y, Z)	600x400x310 mm
Maximální velikost obrobku (X, Y, Z)	1050x820x300 mm
Minimální použitelný průměr drátu	0,1 mm
Maximální použitelný průměr drátu	0,33 mm
Řezaný úhel (min 30°)	45°
Drsnost povrchu Ra (μm)	Až 0,05 μm

Tabulka 7 Parametry stroje

2.3 Sodick AG 600 L



Obrázek 22 EDM drátová řezačka Sodick

Firma Sodick neustále vkládá úsilí do výzkumu a vývoje moderních EDM strojů. Snahou je nabídnout zákazníkovi vysoce spolehlivé stroje pro všestranné nasazení, schopné dosáhnout nejvyšších hodnot ve výkonu, přesnosti a kvalitě. Jako pět hlavních technologií Sodick vyrábí a vyvíjí: napájecí zdroje, generátory, lineární motory, řízení pohybu a kvalitní keramické komponenty.

Konstrukce stroje:

- Tuhý odlitek rámu
- Aero Harmonic systém
- Dielektrický tank z nerezové oceli

Standartní vybavení:

- Servopohon pro napnutí drátu
- Adaptivní řízení
- Automatické navlékání drátu
- Automatické znovu zopakování návleku drátu

Servisní podmínky:

Parametr	Hodnota
Cena za 1 hodinu práce servisního technika	980,00 Kč
Cena za 1 hodinu cesty technika	250,00 Kč
Cena za dopravu náhradních dílů (za 1 km)	9,00 Kč
Garantovaná doba započetí servisních prací	2 dny
Garantovaná doba dodání náhradních dílů	1-30 dní

Tabulka 8 Servisní podmínky

Parametry stroje:

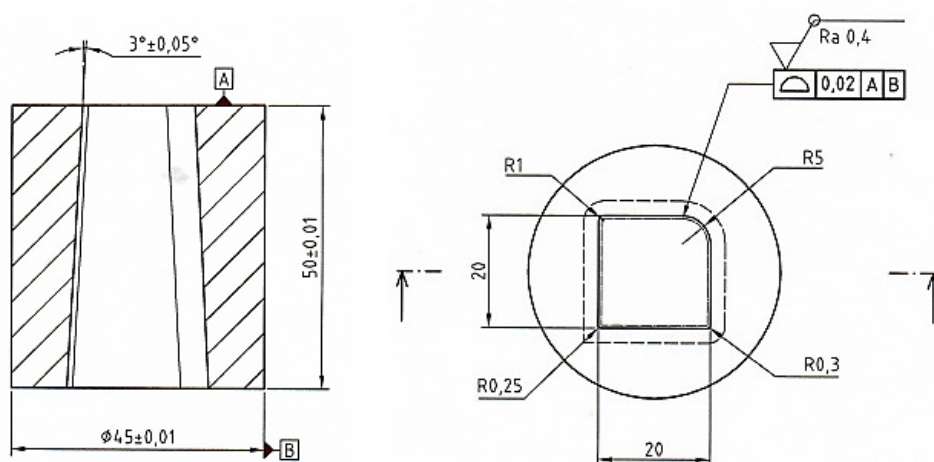
Parametr	Hodnota
Rozsah os (X, Y, Z)	600x400x350 mm
Maximální velikost obrobku (X, Y, Z)	800x570x340 mm
Maximální použitelný průměr drátu	0,3 mm
Minimální použitelný průměr drátu	0,05 mm
Řezaný úhel (min 30°)	45°
Drsnost povrchu Ra (μm)	Až 0,1 μm

Tabulka 9 Parametry stroje

E) DISKUZE EXPERIMENTŮ - Řezané vzorky

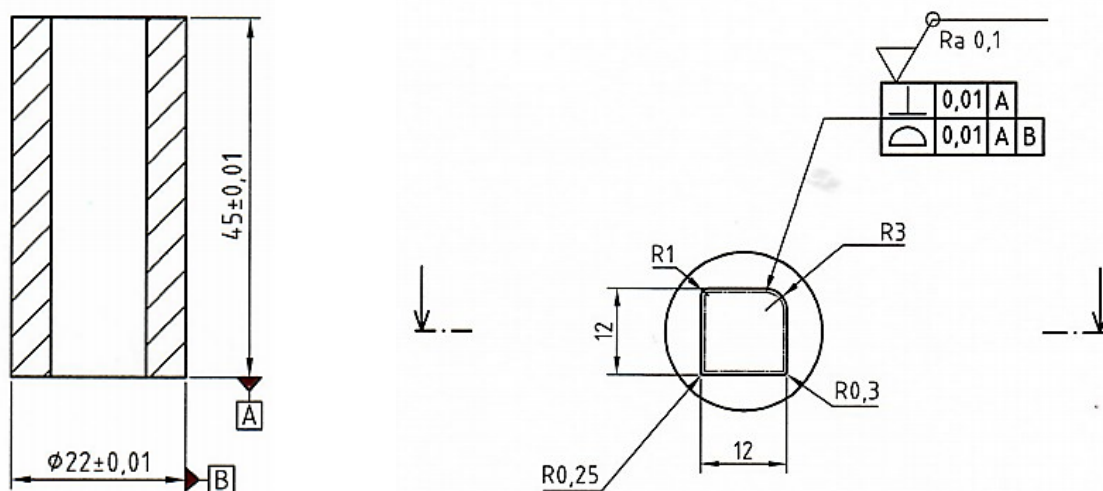
Na vybraných elektrodrátových řezačkách byly provedeny testy kvality a rychlostí řezů. Dále byla provedena analýza řídicího procesu a u výsledných vzorků byla provedena zkouška struktury povrchu a tvarovitosti.

Testovaný vzorek: Ocel 19 552



Obrázek 23 Schéma řezaného vzorku Ocel 19 552

Testovaný vzorek: Hartmetall H40S



Obrázek 24 Schéma řezaného vzorku Hartmetall H40S

Zkouška struktury povrchu:

Typ stroje - HOMMEL-ETAMIC C8000 Contour

Měřicí podmínky:

Typ snímače: TK100

Měřený rozsah: 80 mm

Řídicí systém: Hommelwerkwe Turbo Wave V7.20

Lineární pos. Přístroje: waveline 60

Měřicí dráha (Lt): 5.00 mm

Posuvová rychlost (Vt): 0.50 mm/s

Filtr: ISO 11562(M1)

Lc (Cut Off) 0.800 mm

Lc/ Ls: 300



Obrázek 25 Měřicí stroj HOMMEL- ETAMIC C 8000

Měření odchylky tvaru

Typ stroje – Wenzel LH 87

Parametry stroje:

Certifikace: ISO 9001

Řídicí systém: Metrosoft QUARTIS R15

3D měření

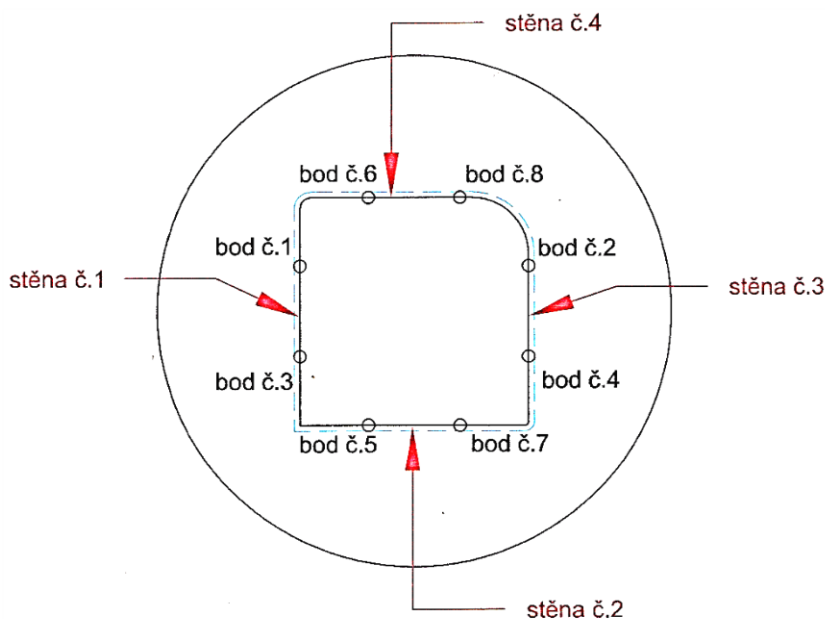
Dotyková sonda



Obrázek 26 3D měřič Wenzel LH 87

Metodika měření na zvolených bodech a stěnách

Na vybraných drátových centrech byly zaznamenány parametry procesu řezání. Dále byla provedena zkouška struktury povrchu a tvarovitosti. Mezi zvolenými body byla změřena odchylka tvaru. Dolní a horní tolerance byly zvoleny podle předchozích zkušeností s vybranými polotovary testovaných vzorků. Na následujícím obr. 27 je zobrazeno rozložení jednotlivých bodů na řezaných vzorcích.



Obrázek 27 Schéma zvolených bodů a stěn.

1) Agie Charmilles CUT 3000

Testovaný vzorek Ocel

Materiál obrobku	Ocel 19 552
Výška řezu	50,0 mm (3° úhel řezu)
Drát	AC Cut G
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,32 μm
Počet řezů	4 krát
Doba obrábění	74 minut

Tabulka 10 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:

Ra = 0,251 μm

**Měření odchylky tvaru:**

Zvolené body	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
1+2 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.005	0.005	27 %
3+4 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.006	0.006	29 %
5+6 [Y]	20.000	0.020	-0.020	20.008	0.008	41 %
7+8 [Y]	20.000	0.020	-0.020	20.009	0.009	45 %

Tabulka 11 Měření odchylky tvaru

Testovaný vzorek vyhovuje.**Testovaný vzorek Hartmetall**

Materiál obrobku	Hartmetall H40S
Výška řezu	45,0 mm
Drát	AC Cut G
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,06 µm
Počet řezů	7 krát
Doba obrábění	150 minut

Tabulka 12 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:**Ra = 0,056 µm****Měření odchylky tvaru:**

Hloubka (mm)	Zvolené stěny	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
- 4	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.999	-0.001	-10%
-4	2+4	12.000	0.010	- 0.010	12.000	-0.000	-1%
-20	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.998	-0.002	-16%
-20	2+4	12.000	0.010	- 0.010	12.000	0.000	2%
-40	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.997	-0.003	-27%
-40	2+4	12.000	0.010	- 0.010	11.999	-0.001	-14%

Tabulka 13 Měření odchylky tvaru

Testovaný vzorek vyhovuje.



2) Fanuc C600 iA/MF2

Testovaný vzorek Ocel

Materiál obrobku	Ocel 19 552
Výška řezu	50,0 mm (3° úhel řezu)
Drát	Hitachi HBZ – U
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,27 μm
Počet řezů	5 krát
Doba obrábění	95 minut

Tabulka 14 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:

Ra = 0,212 μm

Měření odchylky tvaru:

Zvolené body	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
1+2 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.020	0.020	98 %
3+4 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.019	0.019	96 %
5+6 [Y]	20.000	0.020	-0.020	20.017	0.017	86 %
7+8 [Y]	20.000	0.020	-0.020	20.016	0.016	82 %

Tabulka 15 Měření odchylky tvaru

Testovaný vzorek vyhovuje.

Testovaný vzorek Hartmetall

Materiál obrobku	Hartmetall H40S
Výška řezu	45,0 mm
Drát	Hitachi HBZ – U
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,128 μm
Počet řezů	8 krát
Doba obrábění	119 minut

Tabulka 16 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:

Ra = 0,095 μm

Měření odchylky tvaru:

Hloubka (mm)	Zvolené stěny	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
- 4	1+3	12.000	0.010	- 0.010	12.013	0.013	134 %
-4	2+4	12.000	0.010	- 0.010	12.011	0.011	107 %
-20	1+3	12.000	0.010	- 0.010	12.018	0.018	180 %
-20	2+4	12.000	0.010	- 0.010	12.011	0.011	113 %
-40	1+3	12.000	0.010	- 0.010	12.015	0.015	152 %
-40	2+4	12.000	0.010	- 0.010	12.010	0.010	100 %

Tabulka 17 Měření odchylky tvaru

Testovaný vzorek nevyhovuje.**3) Sodic AG 600 L****Testovaný vzorek Ocel**

Materiál obrobku	Ocel 19 552
Výška řezu	50,0 mm (3° úhel řezu)
Drát	HQW205 P5 – 6
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,4 µm
Počet řezů	5 krát
Doba obrábění	165 minut

Tabulka 18 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:**Ra = 0,382 µm****Měření odchylky tvaru:**

Zvolené body	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
1+2 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.002	0.002	11 %
3+4 [X]	20.000	0.020	-0.020	20.002	0.002	11 %
5+6 [Y]	20.000	0.020	-0.020	20.000	0.000	2 %
7+8 [Y]	20.000	0.020	-0.020	19.999	-0.001	-4 %

Tabulka 19 Měření odchylky tvaru

Testovaný vzorek vyhovuje.



Testovaný vzorek Hartmettal

Materiál obrobku	Hartmetall H40S
Výška řezu	45,0 mm
Drát	HQW205 P5 – 6
Drsnost povrchu řezu	Ra 0,11 µm
Počet řezů	8 krát
Doba obrábění	114 minut

Tabulka 20 Parametry zvoleného procesu obrábění

Zkouška struktury povrchu:

Ra = 0,154 µm

Měření odchytky tvaru:

Hloubka (mm)	Zvolené stěny	Nominální hodnota (mm)	Horní tolerance (mm)	Dolní tolerance (mm)	Aktuální bod (mm)	Rozdíl (mm)	Rozdíl (%)
- 4	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.994	-0.006	-64%
-4	2+4	12.000	0.010	- 0.010	11.993	-0.007	-65%
-20	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.994	-0.006	-57%
-20	2+4	12.000	0.010	- 0.010	11.995	-0.005	-55%
-40	1+3	12.000	0.010	- 0.010	11.993	-0.007	-71%
-40	2+4	12.000	0.010	- 0.010	11.994	-0.006	-64%

Tabulka 21 Měření odchytky tvaru

Testovaný vzorek vyhovuje.



F) TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

1) Agie Charmilles Cut 3000

Nabídková cena:

Maximum: 50 bodů

Nabídka 6 150 000 Kč

Nejlepší nabídka: 3 927 972 Kč

Bodový zisk nabídky: 31, 93 bod

Servisní parametry:

Cena za 1 hodinu práce technika:

Maximum: 10 bodů

Nabídka: 500,00 Kč

Nejlepší nabídka: 499,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 9,98 bodů

Cena za 1 hodinu cesty technika:

Maximum: 4 body

Nabídka: 150,00 Kč

Nejlepší nabídka: 150,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 4 body



Cena za dopravu náhradních dílů (za 1km):

Maximum: 2 body

Nabídka: 8,00 Kč

Nejlepší nabídka: 8,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 2 body

Garance započetí oprav (hodiny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 8 hodin

Nejlepší nabídka: 8 hodin

Bodový zisk nabídky 2 bodů

Garance dodání náhradních dílů (dny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 1 den

Nejlepší nabídka: 1 den

Bodový zisk nabídky 2 body

Parametry technologie:

Rozsah os (X, Y, Z)

Maximum: 1 bod

Nabídka: 44 800 000 mm³

Nejlepší nabídka: 84 000 000 mm³

Bodový zisk nabídky 0,53 bodů



Velikost obrobku (X, Y, Z)

Maximum: 2 body

Nabídka: 170 625 000 mm³

Nejlepší nabídka: 258 300 000 mm³

Bodový zisk nabídky 1,32 bodu

Maximální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,33 mm

Nejlepší nabídka: 0,33 mm

Bodový zisk nabídky 1 bod

Minimální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,1 mm

Nejlepší nabídka: 0,05 mm

Bodový zisk nabídky 0,50 bodu

Řezaný úhel

Maximum: 3 body

Nabídka: 30°

Nejlepší nabídka: 45°

Bodový zisk nabídky 2 body



Drsnost povrchu

Maximum: 2 body

Nabídka: 0,05 μm

Nejlepší nabídka: 0,05 μm

Bodový zisk nabídky 2 body

Řezaný vzorek:

Maximum: 20 bodů

Nabídka: 224 minut

Nejlepší nabídka: 224 minut

Bodový zisk nabídky: 20 bodů

Celkové hodnocení:

Nabídková cena	31,93 bodů
Servisní parametry	19,98 bodů
Technické parametry stroje	7,35 bodů
Vzorek	20 bodů

Tabulka 22 Bodový zisk

Celkový bodový zisk: 79,27 bodů



2) Fanuc α – C600 i A

Nabídková cena:

Maximum: 50 bodů

Nabídka 3 927 972 Kč

Nejlepší nabídka: 3 927 972 Kč

Bodový zisk nabídky: 50, 00 bodů

Servisní parametry:

Cena za 1 hodinu práce technika:

Maximum: 10 bodů

Nabídka: 499,00 Kč

Nejlepší nabídka: 499,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 10,00 bodů

Cena za 1 hodinu cesty technika:

Maximum: 4 body

Nabídka: 150,00 Kč

Nejlepší nabídka: 150,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 4 body



Cena za dopravu náhradních dílů (za 1km):

Maximum: 2 body

Nabídka: 8,00 Kč

Nejlepší nabídka: 8,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 2 body

Garance započetí oprav (hodiny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 24 hodin

Nejlepší nabídka: 8 hodin

Bodový zisk nabídky 0,67 bodů

Garance dodání náhradních dílů (dny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 1 den

Nejlepší nabídka: 1 den

Bodový zisk nabídky 2 body



Parametry technologie:

Rozsah os (X, Y, Z)

Maximum: 1 bod

Nabídka: 84 000 000 mm³

Nejlepší nabídka: 258 300 000 mm³

Bodový zisk nabídky 0,89 bodu

Velikost obrobku (X, Y, Z)

Maximum: 2 body

Nabídka: 258 300 000 mm³

Nejlepší nabídka: 258 300 000 mm³

Bodový zisk nabídky 2 body

Maximální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,3 mm

Nejlepší nabídka: 0,33 mm

Bodový zisk nabídky 1 bod



Minimální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,1 mm

Nejlepší nabídka: 0,05 mm

Bodový zisk nabídky 0,50 bodu

Řezaný úhel

Maximum: 3 body

Nabídka: 45°

Nejlepší nabídka: 45°

Bodový zisk nabídky 3 body

Drsnost povrchu

Maximum: 2 body

Nabídka: 0,05 μm

Nejlepší nabídka: 0,05 μm

Bodový zisk nabídky 2 body



Řezaný vzorek:

Maximum: 20 bodů

Nabídka: 214 minut (**nesplnila podmínky**)

Nejlepší nabídka: 224 minut

Výpočet: nesplnila podmínky = 0

Bodový zisk nabídky: 0 bodů

Celkové hodnocení:

Nabídková cena	50,00 bodů
Servisní parametry	18,67 bodů
Technické parametry stroje	9,3 bodů
Vzorek	0 bodů

Tabulka 23 Bodový zisk

Celkový bodový zisk: 77,96 bodů

3) Sodic AG 600 L

Nabídková cena:

Maximum: 50 bodů

Nabídka 4 656 686,00 Kč

Nejlepší nabídka: 3 927 972,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 42, 18 bodů



Servisní parametry:

Cena za 1 hodinu práce technika:

Maximum: 10 bodů

Nabídka: 980,00 Kč

Nejlepší nabídka: 499,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 5,09 bodů

Cena za 1 hodinu cesty technika:

Maximum: 4 body

Nabídka: 250,00 Kč

Nejlepší nabídka: 150,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 2,4 bodu

Cena za dopravu náhradních dílů (za 1km):

Maximum: 2 body

Nabídka: 9,00 Kč

Nejlepší nabídka: 8,00 Kč

Bodový zisk nabídky: 1,78 bodu

Garance započetí oprav (hodiny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 48 hodin

Nejlepší nabídka: 8 hodin

Bodový zisk nabídky 0,33 bodu



Garance dodání náhradních dílů (dny)

Maximum: 2 body

Nabídka: 30 dnů

Nejlepší nabídka: 1 den

Bodový zisk nabídky 0,07 bodu

Parametry technologie:

Rozsah os (X, Y, Z)

Maximum: 1 bod

Nabídka: 84 000 000 mm³

Nejlepší nabídka: 84 000 000 mm³

Bodový zisk nabídky 1 bod

Velikost obrobku (X, Y, Z)

Maximum: 2 body

Nabídka: 155 040 000 mm³

Nejlepší nabídka: 258 300 000 mm³

Bodový zisk nabídky 1,2 bodu

Maximální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,3 mm

Nejlepší nabídka: 0,33 mm

Bodový zisk nabídky 0,91 bod



Minimální průměr drátu

Maximum: 1 bod

Nabídka: 0,05 mm

Nejlepší nabídka: 0,05 mm

Bodový zisk nabídky 1 bod

Řezaný úhel

Maximum: 3 body

Nabídka: 45°

Nejlepší nabídka: 45°

Bodový zisk nabídky 3 body

Drsnost povrchu

Maximum: 2 body

Nabídka: 0,1 μm

Nejlepší nabídka: 0,05 μm

Bodový zisk nabídky 1 bod



Řezaný vzorek:

Maximum: 20 bodů

Nabídka: 279 minut

Nejlepší nabídka: 224 minut

Bodový zisk nabídky: 16,06 bodů

Celkové hodnocení:

Nabídková cena	42,18 bodů
Servisní parametry	9,67 bodů
Technické parametry stroje	8,11 bodů
Vzorek	16,06 bodů

Tabulka 24 Bodový zisk

Celkový bodový zisk: 76,01 bodů

Kritérium	Váha	Charm.CUT3000		Fanuc α – C600i		Sodic AG600i		Nejllepší cena	Vítěz
Nabídková cena bez DPH	50	6 150 000 Kč	31,93	3 927 972 Kč	50,00	4 656 686 Kč	42,18	3 927 972 Kč	Fanuc α – C600i
Cena za hodinu práce technika	10	500 Kč	9,98	499 Kč	10,00	980 Kč	5,09	499 Kč	Fanuc α – C600i
Cena za hodinu cesty technika	4	150 Kč	4,00	150 Kč	4,00	250 Kč	2,40	150 Kč	Charm.CUT3000
Cena za dopravu náh. dílů (1km)	2	8 Kč	2,00	8 Kč	2,00	9 Kč	1,78	8 Kč	Charm.CUT3000
Garance započítání oprav (hodiny)	2	8	2,00	24	0,67	48	0,33	8	Charm.CUT3000
Garance dodání náhradních dílů (hodiny)	2	24	2,00	24	2,00	720	0,07	24	Charm.CUT3000
Rozsah os (X*Y*Z)	1	44 800 000	0,53	74 400 000	0,89	84 000 000	1,00	84 000 000	Sodic AG600i
Velikost obrobku (X*Y*Z)	2	170 625 000	1,32	258 300 000	2,00	155 040 000	1,20	258 300 000	Fanuc α – C600i
Maximální průměr drátu	1	0,33	1,00	0,3	0,91	0,3	0,91	0,33	Charm.CUT3000
Minimální průměr drátu	1	0,1	0,50	0,1	0,50	0,05	1,00	0,05	Sodic AG600i
Řezaný úhel	3	30	2,00	45	3,00	45	3,00	45	Fanuc α – C600i
Drsnost povrchu	2	0,05	2,00	0,05	2,00	0,1	1,00	0,05	Charm.CUT3000
Hodnocení vzorků	20	224	20,00	214	0,00	279,0	16,06	224	Charm.CUT3000
Bodový součet pro každého z účastníků			79,27		77,96		76,01	79,27	Charm.CUT3000

Tabulka 25 - Zhodnocení parametrů nabídek jednotlivých dodavatelů



G) ZÁVĚR

Moje diplomová práce byla orientována do konkrétního strojírenského podniku, kde jsem byl rovněž zaměstnán. V této diplomové práci jsem kromě vědomostí a znalostí, které jsem získal studiem VŠ i studiem mnoha informačních zdrojů, mohl vycházet i z pracovní činnosti v konkrétním podniku. Opíral jsem se o znalost pracovního prostředí, jeho strojního a technicko-výrobního vybavení. Vycházel jsem i ze záměrů v zaměření na budoucí výrobní technologie, založené na progresivním vývoji ve světě, strojní a ostatní výrobně-technické vybavení. Zaměření mé práce a cíle, které jsem si ve své práci stanovil, byly vodítkem při zpracování. Snažil jsem se, aby bylo výsledkem nejen splnění, ale pokud možno rozšíření nad rámec zadání.

V tomto závěru nyní hodnotím, jak se mi tyto cíle a tím i zadání pro mou práci podařilo splnit.

V souladu se zaměřením mé práce, vycházející ze zadání, řeším v nezbytném rozsahu obecnou charakteristiku progresivních technologií obrábění, resp. jejich vymezené části. Opírám se o analýzu současného stavu a zejména pak o přehled dostupných technologických zařízení, která jsou současně špičková zařízení v oboru.

Mým prvním cílem bylo zaměřit se na praktické pohledy. K tomu mi přispěl můj pracovní poměr a s tím současně získané zkušenosti. První, co jsem si ověřil, bylo, že majitelé i celé vedení jsou si vědomi toho, že rozvoj výrobní základny a investice na ni vynaložené musí vycházet ze znalosti trhu s odbytem jeho výrobků. Tato základní podmínka, aby byla zajištěna návratnost investic, tj. plné využití pořízených zařízení je podle mého mínění splněna.

Další důležitou podmínkou bylo, aby si firma byla vědoma toho, že obsluha špičkové technologie vyžaduje vysoce kvalifikované pracovníky. Firma skutečně s tím počítá. Snaží se zdroje na rozvoj alokovat tak, aby byly úměrně hmotným investicím zajištěny i do rozvoje pracovních zdrojů. Domnívám se, že moje snaha, aby moje práce byla i metodickou pomůckou zejména pro získání mladých talentů, byla splněna. Tím byl splněn další z cílů mé práce.



Při zpracovávání mé práce jsem považoval za stěžejní cíl navrhnout a při praktickém výběru nových zařízení pak uplatnit návrh postupu a tím firmě napomoci s výběrem dodavatele, resp. konkrétního zařízení. Tento základní cíl byl zcela určitě splněn v celém rozsahu. Na základě mého návrhu došlo ke konkrétnímu hodnocení a následně k výběru nejvhodnějšího dodavatele.

Práce je rozšířena o experimentální činnost. O řadu laboratorních měření a dalších hodnocení. To dokládá praktický význam mé práce a tak se domnívám není jen splněním zadání, ale je svým rozsahem i obsahem nad jeho rámec.

Za velmi důležitou část pokládám podrobné ekonomické hodnocení. To je dokladem, že nové investice jsou plně opodstatněné nejen k zabezpečení budoucích cílů firmy, upevnění její pozice na trhu, udržení stávajících i získání nových zákazníků. Hodnocení dokládá, že investice do nových progresivních technologií výrazně přispějí k vlastní ekonomice firmy. Přispějí k dalšímu vytváření potřebných zdrojů, a to jak pro budoucí rozvoj, tak i pro uspokojivé řešení sociálních otázek, při zvyšování motivace i zajištění dalšího vzdělávání.

V tomto závěru hodnotím, že se mi v plné míře podařilo splnit zadání, že jsem správně volil zaměření své práce, stanovil si reálné cíle a zajistil jejich splnění. Práci jsem obohatil o řadu dalších cenných poznatků, které bude možno využít nejen ve firmě, ale i v mém dalším profesním životě uplatnit.



Použitá literatura

- [1] *robotrio.cz*/ [online]. Ostrava: -, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <http://robotrio.cz/>
- [2] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] KOCMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [4] MIČIETOVÁ, Anna, Ildikó MAŇKOVÁ a Karol VELÍŠEK. *Top trendy v obrábění*. Žilina: MEDIA/ST, 2007. Stroje, materiály, technologie.
- [5] *Cs.wikipedia* [online]. Ostrava [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrojiskrov%C3%A9_obra%C3%A1bn%C4%9Bn%C3%AD#Historie
- [6] BEZELI, Miroslav. *Racionalizace elektroerozivního obrábění* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/117397>. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [7] SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění I: elektroerozivní, elektrochemické a chemické obrábění*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3943-1.
- [8] LUPTÁK, Miloslav, Vilém MÁDR a Alena LUPTÁKOVÁ. *Snímanie procesu delenia materiálov v nekonvenčných technológiách*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3637-9.
- [9] VIGNER, Miloslav a Zdeněk PŘIKRYL. *Obrábění*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. Česká matice technická
- [10] *Invocz* [online]. Ostrava [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.invocz.cz/eлектроerozivni-obrazeni-edm-dratovani-hloubeni>
- [11] *jvmrpic.cz* [online]. Ostrava [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: https://www.jvmrpic.cz/hodnotici-kriteri-a-ve-vyberovych-rizenich/?fbclid=IwAR0X81kFWJUN_zVPxLrr2p8w-9SUqJTqc-XTFMLqsKDX442B4b2MTwFIR70



- [12] BROŽOVÁ, Helena, Milan HOUŠKA a Tomáš ŠUBRT. *Modely pro vícekritériální rozhodování*. Praha: Credit, 2003. ISBN 80-213-1019-7.
- [13] SHAW, Milton Clayton. *Metal cutting principles*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 0195142063.
- [14] STEPHENSON, David A. a John S. AGAPIOU. *Metal cutting theory and practice*. New York: Marcel Dekker, c1997. ISBN 0824795792



Poděkování

Tímto děkuji panu doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z Katedry obrábění, montáže a strojírenské technologie, VŠB – TU Ostrava za rady a připomínky k vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janu Švejcarovi ze společnosti Robotrio, s.r.o. za rady a připomínky k diplomové práci a za získání potřebných informací, podkladů a rad ke zpracování diplomové práce.

Diplomová práce byla vypracována v rámci projektu: „Moderní a produktivní obrábění a metrologie“, registrační číslo „SP2019/60“ Specifického výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.



PŘÍLOHA

ROBOTRIO

Dolní Studénky část Králec 132, 788 20 Dolní Studénky

Společnost ROBOTRIO s.r.o.

Část Králec 132, 788 20 Dolní Studénky

Telefon: 583 213 913

E- mail: robotrio@robotrio.cz

IČO : 25390872

DIČ : CZ25390872

Pan Bc. Miroslav Bezeli

Vyřizuje

V Dolních Studénkách

Skýpala

25.1.2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Vážený pane,

na základě vzájemné dohody si dovoluji zadat následující téma Vaší diplomové práce:

NÁVRH EFEKTIVNÍHO ELEKTROEROZIVNÍHO OBRÁBĚNÍ

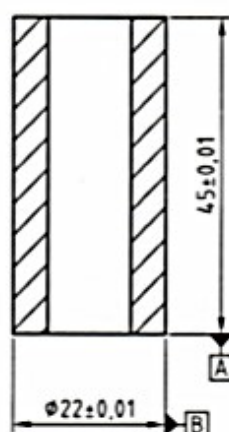
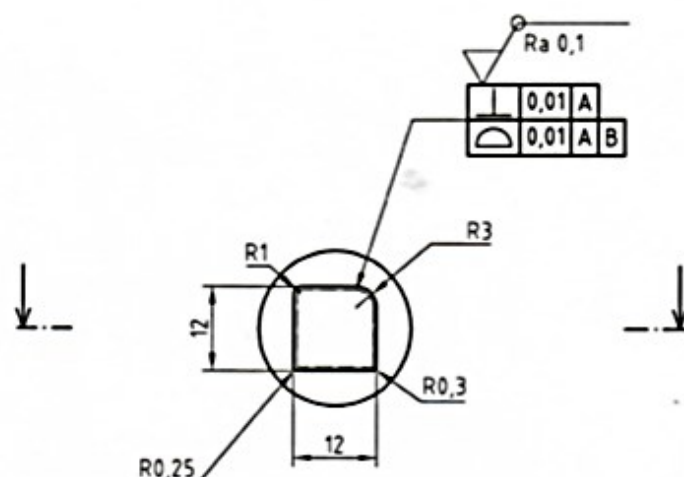
Obsahem Vaší diplomové práce bude návrh vhodné elektroerozivní technologie pro společnost ROBOTRIO s.r.o., porovnání a vyhodnocení jednotlivých vybraných parametrů drátových řezaček a jejich dodavatelů, porovnání a zhodnocení vyřezaných vzorků na zvolených drátových řezačkách, obecný popis technologie elektroerozivního obrábění a technicko – ekonomické zhodnocení vybraných drátových řezaček.

Společnost Robotrio s.r.o. – Nástrojárna Dolní Studénky se zavazuje k předání veškerých dostupných podkladů a informací a zároveň si vyhrazuje právo požadovat využití těchto podkladů pouze pro účely zpracování Vaší diplomové práce a nepředávat je třetím subjektům.

Pavel Skýpala

Vedoucí nástrojárny a výroby

ROBOTRIO s.r.o.
Králec 132
788 20 Dolní Studénky
IČO: 25390872 DIČ: CZ25390872
tel./fax: 583 213 913

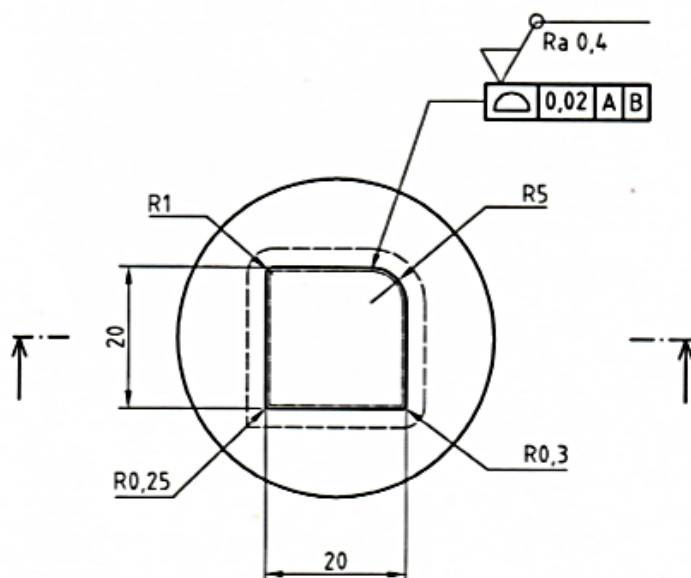


ZÁKLADNÍ ROZMĚRY POLOTOVARU NEUPRAVOVAT !

— CELÁ KONTURA

Ø DRÁTU 0,25 mm

1		H40S						1
Počet kusů	Rozměr	Skladové číslo Materiál	Úprava Tepelné zprac.	Kto mat. Vydáno	Karta č. Stav skl.	Jedn. cena Celkem	Název součásti	Pos.
Měřítka 1:1	Kreslil Přezkoušel Norm. ref. Výr. projedn.		Č. snímku Č. transp.	Změna	Datum	Podpis	Index změny	x x x x x
ROBOTRIO		Název TESTOVACÍ VZOREK TVRDOKOV	Starý výkres Číslo 201 / 1069 / 1 Počet listů		Nový výkres		1 List	



Ø DRÁTU 0,25 mm

1		19 552	54-2 HRc				VZOREK 2	2
Počet kusů	Rozměr	Skladové číslo Materiál	Úprava Tepelné zprac.	Kto mat.	Karta č.	Jedn. cena	Název součásti	Pos.
Měřítka	Kreslil		Č. snímku	Vydáno	Stav skl.	Celkem		
1:1	Přezkoušel			Změna			Datum	Podpis
	Norm. ref.							
	Výr. projedn.	Schválil	Č. transp.					Index změny
ROBOTRIO		Název TESTOVACÍ VZOREK OCEL		Starý výkres		Nový výkres		
				Číslo				
				201 / 1070 / 1		2		
				Počet listů		List		